

ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н., профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана Товстоного Валерия Алексеевича на диссертационную работу Гавриша Сергея Викторовича «Создание импульсных газоразрядных источников ИК излучения нового поколения для оптико-электронных систем» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника»

Актуальность темы. Появление все более совершенных средств поражения летательных аппаратов (ЛА) одновременно ставит и задачу создания систем защиты ЛА от этого вооружения. До середины 70-х годов управляемые ракеты оснащались головками самонаведения (ГСН) с максимумом чувствительности в спектральном диапазоне 1–2 мкм. Защита от таких ракет достаточно надежно обеспечивалась с помощью отстреливаемых ИК ловушек и механически модулируемых нагревательных элементов. В 80-х годах появились усовершенствованные ГСН, в которых использованы материалы с улучшенными оптико-физическими характеристиками для приемников, что обеспечило обнаружение цели в интервале длин волн 3-5 мкм, который характеризуется меньшим затуханием сигнала в атмосфере и низким уровнем фоновых помех. В результате этого уязвимость вертолетов, дозвуковых и низколетящих больших транспортных самолетов резко увеличилась.

За рубежом для защиты ЛА от ракет нового поколения разработаны системы оптико-электронного противодействия (СОЭП), использующие в качестве источников ИК излучения импульсную газоразрядную лампу на основе разряда в парах цезия, излучение которой за счет модуляции проходящего тока обеспечивает сложную импульсную или импульсно-периодическую структуру выходного сигнала. Информацию о конструкции, технологии и условиях эксплуатации указанной цезиевой лампы, возможно получить только в общих чертах из фотографий рекламного проспекта фирмы LORAL. Такой источник ИК излучения представля-

ет собой разрядную трубку из монокристаллического сапфира, наполненную парами цезия, расположенную в наружной термостатирующей сапфировой оболочке, заполненной газом-теплоносителем. Конструкция лампы обеспечивает высокие удельные электрические нагрузки за счет теплосъема потоком воздуха, направленным на наружную оболочку. Наиболее важными характеристиками таких ламп являются пиковая сила излучения в спектральном диапазоне 3–5 мкм (при фиксированной длительности полушироты импульса) и глубина модуляции, представляющая собой отношение переменной (модулируемой) составляющей импульса излучения к его пиковому значению, включающему помимо модулируемой и постоянную составляющую излучения оболочек.

Отечественных разработок аналогичных ламп до настоящего времени не проводилось. Поэтому создание таких источников невозможно без детального исследования всего комплекса теплофизических и плазменных процессов, развивающихся в цезиевой плазме и стабилизирующих ее оболочках в зависимости от параметров внешней электрической цепи и условий эксплуатации. Кроме того, необходимо также проведение многоплановых исследований, направленных на создание конструкции ИК источника на базе передовых отечественных технологий, удовлетворяющих требованиям к изделиям специального назначения (срок службы, устойчивость к механо-климатическим воздействиям и т.д.).

Таким образом, диссертационную работу Гавриша С.В., целью которой является создание нового поколения импульсных газоразрядных источников ИК излучения для систем оптико-электронного противодействия бесспорно следует признать **важной и актуальной**.

Новизна исследований и полученных результатов. Ввиду сложности теплофизических и радиационных процессов, протекающих в плазме щелочных металлов и ограничивающих ее стенках, расчет создаваемой газоразрядной системы является многофакторным вычислительным экспериментом. По этой причине в работе большое внимание уделено проведению расчетных исследований, позволяющих сузить поиск оптимальных характеристик лампы и в сжатые сроки

с минимальными экономичными затратами провести разработку изделия на уровне лучших мировых аналогов.

Научная новизна разработанной в диссертации математической модели разряда заключается в том, что в ней впервые учтено влияние излучения нагретых поглощающе–излучающих оболочек на состояние цезиевой плазмы. При этом для реализации математической модели сформирована база данных по теплофизическим и оптическим характеристикам цезиевой плазмы высокого давления, что открывает новые возможности решения большого круга практических задач по применению разряда в парах любого щелочного металла. Разработанный алгоритм реализации математической модели, построен на итерационной процедуре, состоящей из множества вложенных циклов, он позволяет добиваться высокой точности и достоверности данных по выходным параметрам источника излучения. Полученные автором расчетные данные по спектральному распределению излучения разряда, глубине модуляции, полям температур и концентраций частиц в плазме, параметрам теплового режима оболочек, структуре баланса мощности в зависимости от удельной мощности разряда и условий теплосъема позволили выделить основные параметры, определяющие функциональные характеристики создаваемой лампы, что существенно облегчило проведение экспериментальной оптимизации ИК источника излучения.

Новизна экспериментальных исследований заключается в научной и практической реализации ранее не рассматриваемых проблем в области конструирования газоразрядных ламп. Во–первых, разработаны оригинальные методики исследований излучательных характеристик импульсного разряда в инфракрасной области оптического спектра. Во–вторых, для создания импульсно–периодической структуры ИК излучения изучены вопросы стабилизации разряда как в последовательности серии импульсов, так и паузе между сериями (режим «дежурной дуги»). В-третьих, изучение термомеханических свойств монокристаллического сапфира позволило получить новые данные по влиянию структуры монокристалла сапфира на его прочностные характеристики, что обеспечило решение вопросов повышения срока службы созданного ИК источника в условиях

ударных и вибрационных нагрузок. В-четвертых, выполненные по разработанным методикам технологические и конструктивные исследования позволили не только оптимизировать режим изготовления отдельных элементов конструкции и приступить в итоге к серийному выпуску импульсных источников ИК излучения с сапфировой оболочкой нового поколения, но и послужили базой для разработки новых типов газоразрядных ламп. Этот далеко неполный перечень полученных расчетных и экспериментальных результатов подтверждает **научную новизну представленной диссертации.**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным применением аналитических и численных методов, а тестирование разработанных в диссертации расчетных методик проведено при сопоставлении результатов с имеющимися расчетными и экспериментальными данными других авторов.

Достоверность экспериментальных результатов, полученных автором, обеспечена использованием современных средств и методик проведения исследований. Основные закономерности изменения спектральных, временных и энергетических характеристик газоразрядной цезий–ртутно–ксеноновой плазмы в ИК области экспериментально установлены с использованием методов импульсной фотометрии, калориметрии и спектроскопии. Микроскопические методы являлись основным инструментом анализа структурного совершенства монокристаллов и фазового состава переходных слоев в соединениях сапфира с металлами. Обоснованность положений и выводов подтверждается их практической реализацией при освоении в серийном производстве созданного нового поколения импульсных ламп ИК излучения и СОЭП на их основе.

Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных журналах, докладывались на международных конференциях и получили признание ведущих специалистов.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов. Математическая модель импульсно–периодического разряда, ограниченного системой двух сапфировых оболочек, разработанная в диссертационной работе Гав-

риша С.В., представляет большой научный и практический интерес, так как позволяет:

- детализировать картину физических процессов, происходящих в плазмообразующей среде и оболочках;
- выделить доминирующие процессы, оказывающие влияние на характеристики излучения (пиковую силу излучения, длительность импульса, глубину модуляции);
- установить связь характеристик излучения с конструктивными параметрами импульсного газоразрядного источника ИК излучения;
- в перспективе выполнить оценки эффективности новых разрабатываемых импульсных газоразрядных ламп на основе разряда в парах щелочных металлов.

Заложенные основы конструирования импульсного газоразрядного источника ИК излучения, основанные на полученных результатах исследований характеристик цезий–ртуть–ксенонового разряда, свойств сапфира как материала оболочек, физико–химических процессов в элементах конструкции при изготовлении и эксплуатации импульсных источников ИК излучения, несомненно найдут широкое применение при разработке различных плазменных приборов (ТЭП, МГД–генераторов, газоразрядных ламп и т.п.) с сапфировой оболочкой.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложения (акты внедрения) и списка литературы.

Во введении приводится обоснование актуальности диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе на основе анализа принципов функционирования ГСН и тепловых характеристик летательного аппарата выполнен расчет и сформулированы технические требования к характеристикам разрабатываемого газоразрядного источника ИК излучения.

Вторая часть первой главы посвящена научно–техническому обзору современных достижений в области конструирования газоразрядных ламп с разрядом в

парах щелочных металлов, исследований свойств материалов и возможных технических и схемных решений получения импульсно периодической структуры ИК излучения. В завершении первой главы в виде блок–схемы представлены все возможные факторы, определяющие параметры выходного излучения создаваемого импульсного газоразрядного ИК источника.

Во второй главе диссертации для проведения оптимизации конструкции создаваемого газоразрядного источника ИК излучения разработаны методы расчета характеристик цезий–ртуть–ксенонового разряда, ограниченного системой излучающее–поглощающих оболочек. Особенности предложенной математической модели заключаются в следующем:

- разработанная замкнутая модель процессов в лампе с двумя сапфировыми оболочками позволяет решать сопряженные задачи радиационного теплообмена в многоэлементных устройствах при учете реальных излучательных характеристик материалов элементов и их поверхностей;

- использование алгоритма реализации разработанной системы уравнений с применением сформированной базы данных по материальным функциям и коэффициенту поглощения цезиевой плазмы обеспечивает возможность получения спектрально–энергетических характеристик потока излучения лампы с учетом поглощающе–излучающих свойств нагретых оболочек для любой модуляционной структуры разрядного тока.

В итоге автором создана достаточно общая модель импульсного разряда в парах щелочных металлов, на основе которой возможно получить различные ее модификации, позволяющие описать широкий круг режимов и условий работы разрабатываемых плазменных устройств.

В третьей главе экспериментально обосновано преимущество цезий–ртуть–ксеноновой плазмообразующей среды в сравнении с разрядом в других щелочных металлах в качестве источника модулируемого ИК излучения для использования в СОЭП. Предложенные технические решения по зажиганию разряда и выходу на номинальный режим работы, использование дежурной дуги для амплитудно–временной стабилизации излучательных характеристик источника расши-

ряют сферу применения импульсного разряда в парах щелочных металлов. Представленные в главе схемные варианты формирования токового импульса через лампу совместно с методиками оптимизации условий электрического питания являются новыми способами создания требуемой структуры выходного потока излучения импульсных ламп различного наполнения.

Следует отметить, что для экспериментальных исследований интересна разработанная в данной главе математическая модель испарения амальгамы цезия, позволяющая определить истинное значение давления компонентов плазмообразующей среды в разряде при фиксированных режимах эксплуатации и конструктивных параметрах ИК источника.

Четвертая глава посвящена изучению основных свойств профилированного сапфира как материала оболочки импульсной газоразрядной лампы. Проанализированы основные воздействующие факторы на поверхность разрядной трубки и внешней оболочки и изучены способы повышения надежности лампы. Для получения бездефектной оболочки газоразрядной лампы даны рекомендации по скорости выращивания, высоте фронта кристаллизации, способам подготовки шихты при выращивании сапфировой трубы по методу А.В.Степанова.

Особый интерес для разработчиков разрядных приборов с использованием сапфира представляет разработанная методика определения температурных полей импульсного источника ИК излучения. В этой главе значительное внимание уделено исследованию оптической прозрачности, механической прочности и радиационной устойчивости сапфира, а полученные результаты имеют важное научное значение при разработке изделий специального назначения.

Конструкторским и технологическим исследованиям, призванным сформировать основные рекомендации по серийному производству нового поколения импульсных газоразрядных источников ИК излучения, посвящена **пятая глава**.

Экспериментальные исследования, направленные на получение надежного соединения сапфира с металлом, отличаются тщательным изучением физико-химических процессов в технологическом процессе изготовления лампы, а вы-

полненные расчеты термоупругих напряжений в спаях позволили свести к минимуму вероятность отказа лампы в процессе эксплуатации.

В шестой главе представлены некоторые результаты исследований, направленных на расширение области применения полученных в диссертации результатов. Рассмотрены научные предпосылки создания и варианты конструкции газоразрядных ламп, предназначенных для использования в СОЭП, размещенных на летательных аппаратах с низким уровнем собственного теплового излучения или предназначенных для замены малоэффективных средств защиты с нагревательными элементами.

В заключении приведены основные результаты диссертации.

По диссертационной работе следует высказать некоторые **замечания**.

1. В расчетных исследованиях не изучено влияние состава газа в зазоре между оболочками на температурный режим работы оболочек и, соответственно, глубину модуляции излучения.

2. В диссертации в нескольких местах употребляется термин цезиевая лампа, хотя по тексту следует изучение цезий–ртуть–ксеноновой плазмы.

3. В конце главы 2, посвященной математическому моделированию, отмечается «Наиболее радикальным способом повышения пиковой мощности излучения (ПМИ) является переход на новые наполнения. Здесь могут оказаться перспективными электроотрицательные газы (хлор, бром) и щелочно-земельные металлы (барий). Сохраняет свою актуальность и применение активной фильтрации излучения (с помощью интерференционных покрытий)». В то же время, в главе 6 предложенные направления повышения эффективности источника ИК излучения не рассматриваются.

Указанные недостатки не являются определяющими и не влияют **на положительную оценку диссертационной работы** в целом. Ознакомившись с текстом диссертации и авторефератом можно сделать следующее заключение.

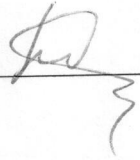
1. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

2. Актуальность избранной темы очевидна и подтверждена актами внедрения в серийное производство как источников ИК излучения, так и СОЭП.

3. Достоверность и новизна сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций научно обоснована.

4. Диссертация соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. за №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а автор Гавриш С.В. достоин присуждения искомой степени по специальности 05.27.02 - «Вакуумная и плазменная электроника».

Товстоног Валерий Алексеевич,
доктор технических наук.,
профессор кафедры «Космические аппараты
и ракеты-носители» МГТУ им.Н.Э. Баумана



Подпись Товстонога В.А. удостоверяю

Первый проректор-проректор по
научной работе

В.Н. Зимин

